

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

По мнению Н. Borgwardt [1] системы передачи и распределения электроэнергии структурно тесно связаны между собой, поэтому они рассматриваются как единое целое. И на практике в большинстве случаев это именно так. Состояние таких систем можно анализировать с помощью модели надежности Маркова. Она основана на описании однородных процессов, которое строится на следующих положениях:

- переход из состояния a_i в состояние a_{i+1} зависит только от состояния a_i и не зависит от предыдущих (условие зависимости);
- в достаточно коротком временном интервале $(t, t + \Delta t)$ переход из одного состояния в другое зависит только от момента времени t и не зависит от предыдущего времени. Это временное условие постоянных переходных значений дается для контактной сети и тяговых подстанций;
- вероятность перехода $P(t, t + \Delta t)$ зависит при этом только от длительности интервала Δt и не зависит от величины t .

Тяговые подстанции являются системами, которые могут иметь различные состояния с точки зрения работоспособности. И потому для упрощения принимается, что тяговая подстанция считается полностью работоспособной, если в рабочем состоянии находится хотя бы один фидер.

Тяговые подстанции являются высоконадежными системами, так как они в большинстве случаев имеют продольное секционирование сборных шин и часто оборудуются даже двумя, а иногда и большим числом систем сборных шин. На практике отсутствие напряжения на фидерах, питающих контактную сеть, возможно по двум причинам: в результате отключения напряжения 110кВ сети первичного электроснабжения или в связи с выходом из строя трансформаторов 110кВ/15кВ. Такое оборудование подстанций, как сборные шины, разъединители и силовые выключатели, настолько редко приводит к выходу из строя тяговых подстанций и потому в [1] в качестве причины выхода не рассматривается.

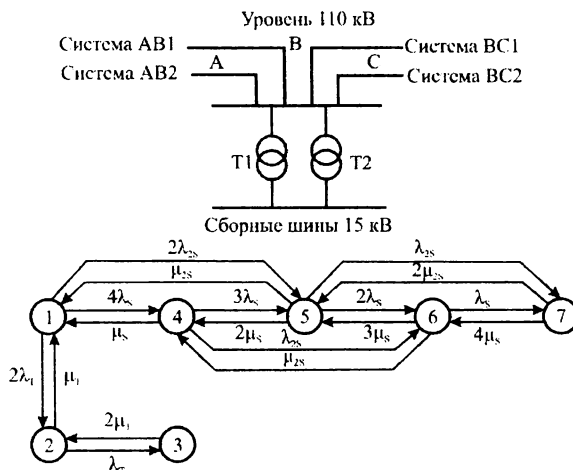


Рис. 1. Структура и графы состояний опорной тяговой подстанции:

1 – тяговая подстанция полностью работоспособна; 2 – выход из строя одного из трансформаторов, подстанция в рабочем состоянии; 3 – выход из строя обоих трансформаторов, подстанция в нерабочем состоянии; 4 – выход из строя одной системы первичного электроснабжения, подстанция работоспособна; 5 – выход из строя двух систем питания, подстанция в рабочем состоянии; 6 – выход из строя трех систем питания, подстанция в рабочем состоянии; 7 – выход из строя всех четырех систем питания, подстанция в нерабочем состоянии; λ – продолжительность нахождения в нерабочем состоянии при отказе; μ – то же, при выполнении работ по техническому обслуживанию; S – индекс, обозначающий систему первичного электроснабжения; T – индекс, обозначающий трансформатор тяговой подстанции

Случаи полного выпадения тяговой подстанции очень редки. В качестве средней продолжительности нерабочего состояния подстанции в ряде исследований называют величину 2,4мин/год.

Эксплуатационная готовность линий электропередачи и тяговых подстанций рассмотрена на примере опорной подстанции. На рисунке 1 показаны структура симметричной сети, графы состояний системы и процесс определения этих состояний.

Модель, предложенная в [1] не учитывает «сгущение» отказов для электротехнического оборудования при плохой погоде. Рассмотрим влияние погодных условий на линии электропередач, т.к. они имеют большую протяженность и сильно зависят от погодных условий. Этот вопрос широко

освещен в [2]. Для учета погоды можно применить две модели: модель со средневзвешенными интенсивностями и двухпогодная Марковская модель.

Модель со средневзвешенными интенсивностями находит весьма ограниченное применение. Этой моделью можно пользоваться для случаев одиночных отказов; множественные отказы можно рассматривать при помощи этой модели только в том случае, если различные линии электропередачи находятся в независимых друг от друга погодных условиях. Если же линии электропередачи находятся в том же самом районе и подвержены одинаковому изменению погодных условий, то их отказы нельзя рассматривать в рамках этой модели, так как результаты вычислений для двукратных и многократных отказов становятся весьма неточными.

Причина расхождения заключается в том, что в периоды плохой погоды вероятность многократных отказов значительно выше, чем в периоды нормальной погоды, и это «сгущение» отказов не учитывается в модели со средневзвешенными интенсивностями. Так становится очевидным, что модель правильно учитывающая эффект сгущения отказов, должна быть основана на детальном анализе состояний системы. Поэтому автором была предложена Марковская модель в виде графа состояний опорной тяговой подстанции, которая показана на рисунке 2.

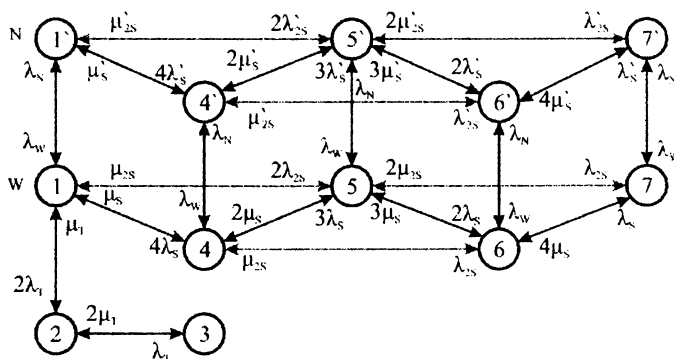


Рис. 2. Графы состояний опорной тяговой подстанции с учетом двухпогодной модели отказов

На рисунке 2: 1 – тяговая подстанция полностью работоспособна; 2 – выход из строя одного из трансформаторов, подстанция в рабочем состоянии; 3 – выход из строя обоих трансформаторов, подстанция в нерабочем состоянии; 4

– выход из строя одной системы первичного электроснабжения, подстанция работоспособна; 5 – выход из строя двух систем питания, подстанция в рабочем состоянии; 6 – выход из строя трех систем питания, подстанция в рабочем состоянии; 7 – выход из строя всех четырех систем питания, подстанция в нерабочем состоянии S – индекс, обозначающий систему первичного электроснабжения; T – индекс, обозначающий трансформатор тяговой подстанции; W – индекс, обозначающий хорошую погоду; N – индекс, обозначающий плохую погоду; состояния графа отмеченные штрихом соответствуют плохой погоде.

Для всей модели (рисунок 2) предположим, что справедливы следующие допущения:

- а) $\lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = 0$;
- б) $\mu'_4 = \mu'_5 = \mu'_6 = \mu'_7 = 0$;
- в) $\lambda_W \gg \lambda'_4, \lambda'_5, \lambda'_6, \lambda'_7$; $\lambda_N \ll \mu'_4, \mu'_5, \mu'_6, \mu'_7$;
- г) $p_N \approx 1$.

Физический смысл допущений (а) и (б) состоит в том, что в периоды нормальной погоды практически не бывает отказов, а при плохой погоде практически не бывает восстановления. Согласно статистике эти предположения недалеки от истины. Для перечисленных условий можно получить выражения для вероятностей состояний с одиночным и двойным отказами, а также для составляющих результирующего значения среднего параметра потока отказов системы, определяемых этими состояниями. Составим Марковскую модель с учетом выше указанных допущений и покажем её на рисунке 3.

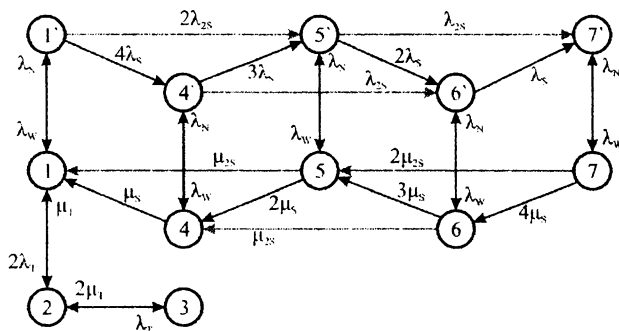


Рис. 3. Марковская модель опорной тяговой подстанции с учетом принятых допущений (обозначения см. рис.1.)

Следует отметить, что состояния системы для периодов плохой погоды не нужно проверять на соответствие критериям отказа в процессе анализа условий отказа. Если некоторое состояние системы является состоянием успешной работы при нормальной погоде, то оно останется таковым и при перемене погодных условий; то же самое справедливо и для состояний отказа системы.

На базе графов состояний и переходов от одного состояния к другому можно составить систему дифференциальных уравнений, при помощи которых вычисляется численным методом длительность нахождения в нерабочем состоянии (эксплуатационная неготовность) этих компонентов системы электроснабжения.

Библиографический список

1. H. Borgwardt et al. *Elektrische Bahnen*, 1999, N1/2, S.22– 26.
2. Эндрени Джс. *Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах: Пер. с англ./Под ред. Ю. Н. Руденко.* — М.: Энергоатомиздат, 1983, 336 с.